

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ხელნაწერის უფლებით
დავით გეწაძე

საგზაო სამოსების რეაბილიტაციის ეფექტურობის გაზრდა
თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით

სადოქტორო პროგრამა: საგზაო ინფრასტრუქტურა და მიწისქვეშა
ხელოვნური ნაგებობები

შიფრი: 0732

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2021 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში

სამშენებლო ფაკულტეტი

საგზაო დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი, ალექსი ბურდულაძე

რეცენზენტები: ტ.მ.დ. აკადემიკოსი, თამაზ შილაკაძე

ასოცირებული პროფესორი, მანუჩარ შიშინაშვილი

დაცვა შედგება 2021 წლის „12“ მარტს, 13 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, მშენებლობის
საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე

კორპუსი I, ბიბლიოთეკა 508

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,

პროფესორი:

დ. ტაბატაძე

შესავალი

ნაშრომის აქტუალობა - საავტომობილო ტრანსპორტის განვითარება, ავტომანქანების კონსტრუქციების მუდმივი გაუმჯობესება, მათი ტვირთამწეობისა და სიჩქარეების სწრაფი ზრდა მოითხოვს მაღალ დონეზე განვითარებულ-გაუმჯობესებულ საგზაო ქსელს. თანამედროვე გზა უნდა აკმაყოფილებდეს, აგრეთვე მნიშვნელოვან ესთეტიკურ მოთხოვნილებებსაც.

სატრანსპორტო საშუალებებიდან გზაზე გადაცემული დატვირთვა დროთა განმავლობაში აზიანებს საგზაო საფარსა და საფუძველს. გზაზე გამავალი თითოეული სატრანსპორტო საშუალება იწვევს მისი საფუძველის მცირე, დროებით დეფორმაციას. მსუბუქი სატრანსპორტო საშუალების მიერ გამოწვეული დეფორმაცია იმდენად მცირეა, რომ მას არ ითვალისწინებენ. მძიმე წონიანი სატრანსპორტო საშუალებები წარმოადგენენ შედარებით დიდი დეფორმაციების მიზეზს. დიდი რაოდენობით სატრანსპორტო საშუალებების გავლით გამოწვეული დეფორმაციები გროვდება, რაც თანდათან იწვევს ნარჩენი დეფორმაციების ან დაღლილობის ბზარების წარმოშობას. ავტომობილის ზედმეტი ღერძული დატვირთვა იწვევს საგზაო სამოსის არაპროპორციულად დიდ დეფორმაციებს, რაც აჩქარებს მისი მდგომარეობის გაუარესებას.

ზედაპირული ბზარების უმეტესი ნაწილის მიზეზს, საავტომობილო გზაზე წარმოადგენს გარემო ფაქტორების ზემოქმედება. ამ დროს ძირითად როლს თამაშობს მზის ულტრაიისფერი სხივები, რომელიც იწვევს ბიტუმის ნელ, მაგრამ უწყვეტ გამყარებას. ამის შედეგად ბიტუმი კარგავს ელასტიურობას და როდესაც ზედაპირი გაცივებისას იკუმშება, ხდება ბზარების წარმოქმნა. დასკდომის შედეგად ირღვევა ზედაპირის მთლიანობა, საგზაო სამოსის მდგომარეობა, მასში წყლის შეღწევის გამო სწრაფად უარესდება. როგორც კი ბზარი შეაღწევს საფარში, საგზაო სამოსში შეიძლება შევიდეს წყალი. მისი დამარბილებელი ზემოქმედება კი იწვევს სიმტკიცის დაქვეითებას, რაც აჩქარებს საფარის მდგომარეობის გაუარესებას ბორბლების განმეორებადი დატვირთვების ზემოქმედებით.

ღონისძიებები, რომელთა მიზანია საფარის დრეკადობის და ცვეთამედეგობის შენარჩუნება, ეფექტურია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ საგზაო სამოსის მდგომარეობის გაუარესება გამოწვეულია გარემო ფაქტორების ზემოქმედებით. გზაზე სატრანსპორტო დატვირთვებისაგან გამოწვეული დეფორმაციისა და დაღლილობითი დასკდომის ეფექტური აღმოფხვრა შეუძლებელია მხოლოდ ზედაპირის დამუშავებით, საჭიროა სხვა სახის შეკეთებითი სამუშაოების ჩატარებაც.

კვლევის საგანს წარმოადგენს: არახისტი საგზაო საფარის რეციკლირება, როგორც საავტომობილო გზების რეაბილიტაციის ერთ-ერთი თანამედროვე და ეფექტური მეთოდი.

დისერტაციის მიზანია - ცივი რეციკლირების ტექნოლოგიის გამოყენებით გზის არსებული მასალის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესება და საგზაო სამოსის კონსტრუქციის გაძლიერება. რეციკლირების სიღრმე და სტაბილიზაციის სახეობა განისაზღვრება საგზაო სამოსის მომსახურების საანგარიშო ვადაზე პროგნოზირებული საგზაო მოძრაობის დატვირთვით, ასევე არსებული საგზაო სამოსის მასალებისა და მის ქვეშ მიწის ვაკისის სიმტკიცის მიხედვით. საგზაო სამოსის აღდგენის ტექნოლოგიების ანალიზის მიზანია მათგან ღირებულების მიხედვით ოპტიმალურის გამოყოფა.

სამეცნიერო სიახლე - ჩვენს მიერ წარმოდგენილი სადოქტორო ნაშრომის სამეცნიერო სიახლეს წარმოადგენს:

- საგზაო საფარის რეციკლირების ტექნოლოგიით შეკეთების თეორიული და ექსპერიმენტული დასაბუთება;
- ცივი რეციკლირების დროს საგზაო სამოსის მზიდი უნარის გათვლა სტრუქტურული რიცხვების, თეორიული ანალიზისა და ძაბვების ზღვრული თანაფარდობის მეთოდით;
- კვლევების საფუძველზე დადგენილია ასფალტგრანულობეტონის ფიზიკურ - მექანიკური თვისებების მაჩვენებელი;

- ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე, შემუშავებულია საგზაო საფარის ცივი რეციკლირების რაციონალური ტექნოლოგიური პარამეტრები, თხევადი ბიტუმის, ცემენტის, მოდიფიცირებული ბიტუმის, ბიტუმის ემულსიისა და დოროპორტის გამოყენებით.

სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა: - სადოქტორო ნაშრომის კვლევების მონაცემებზე დაყრდნობით შესაძლებელია საპროექტო და სამშენებლო ორგანიზაციების მიერ კონკრეტული ობიექტისათვის შემუშავებულ იქნას საგზაო საფარების კონსტრუქციები და სარემონტო სამუშაოების ტექნოლოგიური პარამეტრები; - ჩვენს მიერ ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები გამოყენებული იქნა შიდა სახელმწიფოებრივი საავტომობილო გზის „ხოზი-ახალსოფელი“ და საერთაშორისო მნიშვნელობის „მცხეთა-სტეფანწმინდა-ლარსის“(რუსეთის ფედერაციის საზღვარი) საავტომობილო გზის სარეაბილიტაციო სამუშაოებში.

სამუშაოს აპრობაცია: სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილი მასალები მოხსენებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, სტუდენტთა საერთაშორისო 85-ე, 86-ე და 87-ე კონფერენციებზე.

პუბლიკაციები: დისერტაციის მასალები გამოქვეყნებულია 6 სამეცნიერო ნაშრომში.

დისერტაციის სტრუქტურა: სადისერტაციო ნაშრომი შეიცავს შესავალს, ორ თავს, დასკვნას, ლიტერატურის სიას 48 დასახელებით, 20 ცხრილს და 33 ნახაზს. კვლევის შედეგები გადმოცემულია 144 ნაბეჭდო თაბახზე.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები და ზოგადი დასკვნები:

პირველ თავში განხილულია საავტომობილო გზის კონსტრუქციული ფენები და მათზე მოქმედი ფაქტორები; საგზაო სამოსზე გაჩენილი დეფექტები და მათი აღმოფხვრის საშუალებები; არახისტი საგზაო საფარის რეციკლირების მეთოდები და მათი გამოყენების გამოცდილება.

მეორე თავში მოცემულია საავტომობილო გზის საფარის სისწორისა და სამოსის სიმტკიცის ურთიერთდამოკიდებულების კვლევები, სისწორის ცვლილების დინამიკის საფუძველზე არახისტი საფარის სარემონტო ღონისძიებების დაგეგმვა და ტექნიკურ-ეკონომიურად ხელსაყრელი ტექნოლოგიების შერჩევა.

ექსპლუატაციის პროცესში არახისტი საფარის მქონე მასალასთან ბლანტ სტადიაზე დატვირთვის ყოველი შეხებისას წარმოიშვება შეუქცევადი დეფორმაციები. საგზაო საფარის უსწორობა განპირობებულია არათანაბრად განაწილებული შეუქცევადი დეფორმაციების დაგროვებით. დაგროვების პროცესი ინტენსიურად მიმდინარეობს საფარი მასალის უფრო მეტად დასუსტებულ წერტილებსა და სატრანსპორტო დატვირთვის გაძლიერებული დინამიური ზემოქმედების წარმოშობის ადგილებში მომსახურების მთელი ვადის განმავლობაში. შეუქცევადი დეფორმაციის დაგროვების გამო, მასალის მოცულობის შემცირების შედეგად, საფარზე წარმოიშვება უსწორობები. უსწორობების ხანგრძლივი ფორმირება იწვევს მდგრადი პროფილის წარმოშობას საკუთარი რხევის სიხშირეებით, რაც უნდა მივიღოთ, როგორც საგზაო სამოსის გამძლეობის მახასიათებელი. წარმოდგენილი ჰიპოთეზების დასამტკიცებლად ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ამ ორი მახასიათებლის ურთიერთკავშირის ზოგიერთი თეორიის განხილვა.

სატრანსპორტო საშუალება საავტომობილო გზაზე მოძრაობისას ნებისმიერ მომენტში შეიძლება აღმოჩნდეს სხვადასხვა ფორმისა და სიგრძის ტალღის შვერილზე ან ღრმულში. ამასთანავე, მისი სიჩქარის ვექტორი v შვერილზე ყოფნისას მიმართულია მხების მხრივ ზედაპირისკენ, წყვეტს რა

ბორბალს საფარიდან რამდენიმე წამით. საფარზე ბორბლის დაშვებისას სიჩქარით v_1 , ბორბალი მის პოტენციურ ენერგიას საფართან შეხების მომენტში გარდაქმნის კინეტიკურად, მოქმედებს რა საფარზე დინამიური ძალით. ბორბლის დინამიური დარტყმისას საბოლოო კონტაქტური ზემოქმედების ცვლილება, განისაზღვრება გამოსახულებით

$$R \cdot \Delta t = m_k \cdot v_1$$

სადაც: R - კონტაქტური ურთიერთქმედების შედეგია, კნ;

Δt - კონტაქტური ზემოქმედების დრო, წმ;

m_k - ავტომობილის მასა, კგ;

v_1 - ბორბლის მოძრაობის სიჩქარე, მ/წ.

კონტაქტური ზემოქმედების ცვლილებისა და ბორბლის სიჩქარის ფორმულაში კონტაქტური ზეწოლის მნიშვნელობის ჩასმით მიიღება:

$$P = \frac{m_k \cdot \sqrt{2g \cdot \delta}}{\Delta t \cdot \pi \cdot r^2}$$

მიღებული ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ სატრანსპორტო საშუალების ბორბლის ანაბეჭდის რადიუსისა და მასის პარამეტრების მუდმივი მნიშვნელობებისას, ასფალტბეტონის საფარზე ზემოქმედების სიდიდე დამოკიდებულია ზემოქმედების დროსა Δt (მოძრაობის სიჩქარის) და ტალღის ამპლიტუდაზე δ (უსწორობის სიდიდეზე).

ჩვენს მიერ განხორციელებული გამოკვლევებით დგინდება, რომ საგზაო საფარზე დინამიური გავლენის მატება წარმოიშობა უსწორობის რადიუსის, საბურავებში ჰაერის წნევისა და ავტომობილის მოძრაობის სიჩქარის მატებასთან ერთად. საგზაო სამოსის მომსახურების ვადის გასვლის ბოლოს მიღებულია დრეკადობის საჭირო მოდულის $E_{\delta 05}$ დამოკიდებულება საფარის სისწორეზე.

$$E_{\delta 05} = -11,477 \cdot S + 294,77$$

სადაც S - საფარის დასაშვები სისწორეა საგზაო სამოსის მომსახურების ვადის ბოლოს, გაზომილი სამმეტრიანი ლარტყით, მმ.

არახისტი საგზაო სამოსის გაანგარიშების გამოკვლევების ჩვენს მიერ მიღებული მონაცემებით დგინდება, რომ საგზაო სამოსის დაპროექტება უნდა მოხდეს ისეთი მეთოდით, რომ მრავალჯერადი მოკლევადიანი მოძრავი დატვირთვების ზემოქმედებისას, პლასტიკური გადაადგილებებით გამოწვეული ნარჩენი დეფორმაციები, საანგარიშო პერიოდების სრული ხანგრძლივობის განმავლობაში, არ აღემატებოდეს საექსპლუატაციო სისწორის უზრუნველყოფის პირობით დაშვებულ სიდიდეს. სიმტკიცის პირობას დაძვრის მიხედვით აქვს შემდეგი სახე:

$$K_{საპრ} \cdot T \leq T_{დასაშ}$$

სადაც $K_{საპრ}$ - არის სიმტკიცის კოეფიციენტი დაძვრის მიხედვით გაანგარიშებისას;

T - დაძვრის აქტიური ძაბვა მიწის ვაკისის გრუნტში მოქმედი დატვირთვისაგან, მპა;

$T_{დასაშ}$ - დაძვრის დასაშვები ძაბვა, მპა.

მომსახურების ვადის განმავლობაში ნარჩენი დეფორმაციის დასაშვები ნამატი განისაზღვრება ფორმულით

$$\Delta U = 0,041 \cdot \left[(S_{ბოლო} - 4,7)^{0,76} - (S_{დას.} - 4,7)^{0,76} \right]$$

სადაც $S_{ბოლო}$ - ბიძგის საზომის მაჩვენებელია, სმ/კმ, საგზაო სამოსის მომსახურების ვადის ბოლოს;

$S_{დას.}$ - ბიძგის საზომის მაჩვენებელი, სმ/კმ, საგზაო სამოსის მომსახურების ვადის დასაწყისში;

სიმტკიცის დაქვეითება ან დაძვრა საგზაო სამოსის ფენებში იწვევს თანდათანობით საფარის ზედაპირზე უსწორობის დაგროვებასა და დინამიურობის კოეფიციენტის შესაბამის ზრდას.

ჩატარებული გამოკვლევებით დადგინდა, რომ საფარის ზედაპირის სისწორეს და საგზაო სამოსის სიმტკიცეს აქვთ მდგრადი კორელაციური კავშირი, რაც იძლევა არახისტი საგზაო კონსტრუქციების სიმტკიცის შესახებ დასკვნის გამოტანის შესაძლებლობას, როგორც საფარის სისწორის ცვლილების პირველადი მიზეზისა. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ არსებულ

დამოკიდებულებებს აქვთ სხვადასხვა საფუძველი და შეუძლებელია ერთი კონკრეტული მათემატიკური მოდელით წარმოდგენა, რომელიც ადგენს ერთიან კანონს გზის ექსპლუატაციის მთელი საექსპლუატაციო პერიოდის განმავლობაში.

საფარის სისწორის ცვლილებისას იცვლება დინამიურობის კოეფიციენტი და იზრდება საფარის შეუქცევადი დეფორმაციების მნიშვნელობა, რაც აქვეითებს საგზაო სამოსის სიმტკიცეს. ჩვენს წინაშე დადგა საკითხი, რათა შემუშავებულიყო სპეციალური მეთოდები, რომლებიც მოახდენენ გაზომვის გამარტივებული სქემისა და მოცულობის განფენილობის მიხედვით მნიშვნელოვანი გაანგარიშების ექსპრეს შეფასებას.

ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ინტენსიური დარბილებისა და რღვევის დროის დაწყების განსაზღვრა. ამავე დროს, საფარის გრძივი სისწორე - ერთ მნიშვნელოვან სიდიდეა და მისი გაზომვის სიზუსტეზე მოქმედი ფაქტორების რაოდენობა მინიმუმამდე დაიყვანება. დადგენილია, რომ სიმტკიცე და სისწორე დამოკიდებულია ერთი და იმავე მაჩვენებელზე - მთლიანად გატარებული მანქანების ჯამურ მასაზე, რაც იძლევა მათ შორის ურთიერთკავშირის შესაძლებლობის დაშვებას. საფარის სისწორის ცვლილების დინამიკა დამოკიდებულია საგზაო სამოსისა და მიწის ვაკისის მდგომარეობაზე და წარმოადგენს მზიდი უნარიანობის რაოდენობრივ მახასიათებელს.

მიიჩნევა, რომ მომსახურების ვადაში საფარის სისწორის ცვლილების მათემატიკური დამოკიდებულების დადგენით, ჩვენ მივიღებთ საგზაო სამოსის პლასტიკური (ნარჩენი) დეფორმაციების დაგროვების ინტენსიურობის შეფასების შესაძლებლობას. მიღებული ტოლობა განსაზღვრავს სისწორის ცვლილებას მომსახურების ვადის რემონტებს შორის პერიოდში და ნაწილობრივ ასახავს ასფალტბეტონის რეოლოგიურ ცვლილებებს ამ პერიოდის განმავლობაში.

საგზაო საფარის სისწორის დაქვეითების ხარისხის შედარებითი შეფასებისათვის აუცილებელია სისწორის ცვლილების ნორმატიული და ფაქტიური ტოლობის დადგენა.

სისწორის ნორმატიული და ფაქტიური მნიშვნელობებისათვის ვწერთ განტოლებებს.

$$IRI_{\text{ნორმ.}} = K_{\text{ნორმ.}} \cdot T_{\text{მომსახურ.}} + B_{\text{ნორმ.}}$$

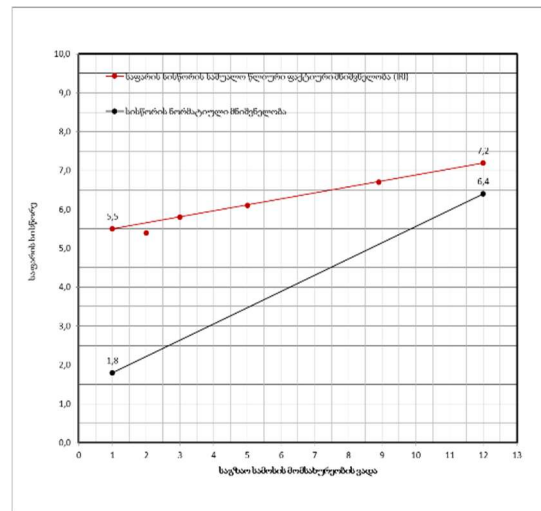
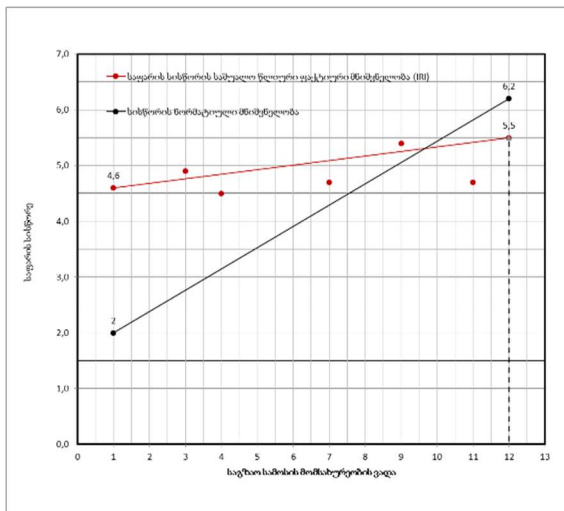
$$IRI_{\text{ფაქტ.}} = K_{\text{ფაქტ.}} \cdot T_{\text{მომსახურ.}} + B_{\text{ფაქტ.}}$$

სადაც $IRI_{\text{ნორმ.}}$ - მოვლენების ნორმატიული განვითარებისას პროგნოზირებადი საფარის სისწორის მნიშვნელობა, მ/კმ;

$IRI_{\text{ფაქტ.}}$ - საფარის სისწორის ფაქტიური მნიშვნელობა, მ/კმ;

$T_{\text{მომსახურ.}}$ - საგზაო სამოსის მომსახურების ვადა, წლები.

ამ ორი ტოლობის გადაკვეთის წერტილის განთავსების ადგილი განსაზღვრავს სარემონტო ღონისძიებების განხორციელების აუცილებლობასა და სახეობას.



ნახ. 1 და ნახ. 2 ნორმატიული და საექსპლუატაციო მნიშვნელობების გადაკვეთის წერტილის აგების მაგალითები მომსახურების ვადის ფარგლებში

$K_{\text{ფაქტ.}}$ კოეფიციენტის მნიშვნელობა და სისწორის წლიური მნიშვნელობა განსაზღვრავს საგზაო სამოსის სიმტკიცის დაქვეითების ინტენსიურობას,

ასევე ადგენს საავტომობილო გზის ექსპლუატაციის შემდეგ პირობებს. საგზაო სამოსის სიმტკიცის უზრუნველყოფის შემთხვევაში, მიიჩნევა, რომ ხანგრძლივი ექსპლუატაციის შედეგად, საავტომობილო გზის პროფილი უკვე ჩამოყალიბებულია და საფარის სისწორის ცვლილება იმყოფება ნორმატიული მნიშვნელობების ფარგლების „მიმდინარე“ ფაზაში. ამასთანავე, სატრანსპორტო საშუალებების ზემოქმედებით გზაზე წარმოშობილი მიკრობზარების რაოდენობა უმნიშვნელოა. ეს მტკიცდება მოკლე ტალღების მნიშვნელოვანი რაოდენობის არ არსებობით, რაც უზრუნველყოფს სისწორის შედარებით სტაბილურ მნიშვნელობას ყოველწლიური გაზომვებისას.

$K_{ფაქტ}$ -ს მცირე და საფარის სისწორის სტაბილურად მაღალი მნიშვნელობებისას, რაც აღემატება ნორმატიულს, მიღებულია, რომ საგზაო სამოსის მზიდი უნარიანობა არ არის უზრუნველყოფილი. ამავე დროს, საავტომობილო გზის პროფილი მიიჩნევა ფორმირებულად. მომსახურების მიღებული ვადის განმავლობაში საფარის სისწორის ინტენსიური ცვლილებისას შესაძლებელია მზიდი უნარის შემდგომი დაქვეითება და საგზაო სამოსის მიკრო ბზარების ინტენსიური ფორმირება. ამ შემთხვევაში აუცილებელია საგზაო სამოსის საფუძველის გაძლიერების საკითხის განხილვა ან საფარის ფენების გადაწყობა.

ჩვენი კვლევის პროცესში ძირითადი ყურადღება გამახვილებულია ცივი რეციკლირების ორ სახეობაზე: რეციკლირება დიდ სიღრმეზე და რეციკლირება მცირე სიღრმეზე.

დიდ სიღრმეზე რეციკლირება შეიძლება გამოყენებული იყოს სქელი და თხელი ასფალტბეტონის ფენის მქონე დაზიანებული საგზაო სამოსის გასამაგრებლად. იქ, სადაც საგზაო სამოსი უნდა დაექვემდებაროს დიდ დატვირთვებს, შეიძლება საჭირო გახდეს ასფალტბეტონის საფუძველი, ასევე ასფალტბეტონის საცვეთი ფენა.

მცირე სიღრმეზე რეციკლირება ჩვეულებრივ ტარდება ასფალტბეტონის ფენების მნიშვნელოვანი ბზარების აღმოსაფხვრელად და მათი

საექსპლუატაციო თვისებების გასაუმჯობესებლად. რეციკლირების ეს სახეობა ხშირად გამოიყენება მომსახურების მცირე ვადის მქონე გზების მოსაწყობად, მცირე სიღრმეზე რეციკლირების მეშვეობით შეიძლება საგზაო სამოსის კონსტრუქციის რამდენადმე გაუმჯობესება, რეციკლირების შემდეგ ასფალტბეტონის საცვეთი ფენის დაგების გზით. ძირითად ფენებში წყლის შეღწევის შემცირებით იზრდება საგზაო სამოსის მომსახურების ვადა. ცივი რეციკლირების მეთოდით საგზაო სამოსის შეკეთებისას არ არის აუცილებელი ძველი სამოსიდან მოხსნილი მასალის გატანა და დასაწყობება სარემონტო უბნის სიახლოვეს, ახალი სამოსის მოწყობასთან შედარებით შემცირებულია ბიტუმის ხარჯი, მთლიანად გამოიყენება ძველი ქვის მასალა და ა.შ. ამ მეთოდით საგზაო სამოსის შეკეთებას გააჩნია მთელი რიგი უპირატესობები:

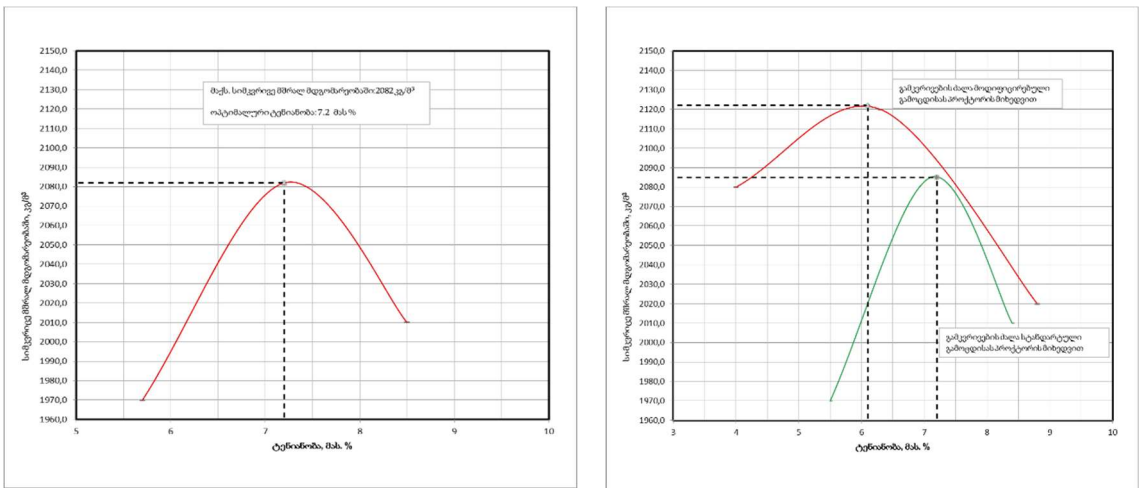
- საგზაო სამოსის სტრუქტურული მთლიანობა.
- გრუნტის მთლიანობის შენარჩუნება.
- სამშენებლო სამუშაოების ხანგრძლივობის შემცირება.
- საგზაო მოძრაობის უსაფრთხოება.

ტექნოლოგიის მნიშვნელოვან ღირსებას წარმოადგენს საგზაო საფარის აღდგენისას ტრანსპორტის მოძრაობის უსაფრთხოების მაღალი დონე. რადგან, რეციკლირების განმახორციელებელი ყველა სამუშაო მანქანა განლაგდება მოძრაობის ერთი ზოლის სიგანეზე.

აღნიშნული უპირატესობებიდან გამომდინარე ცივი რეციკლირების ტექნოლოგია ხორციელდება კრიტერიუმით „ღირებულება/ეფექტურობა“.

რეციკლირებული მასალის დატკეპნის შემდეგ გამკვრივების ხარისხის გაზომვა არც ისე მარტივია ახალი მასალების ასეთ გაზომვებთან შედარებით. ამ გაზომვების მონაცემებით იგება მრუდი, რომლის დახმარებითაც განისაზღვრება მაქსიმალური სიმკვრივე მშრალ მდგომარეობაში და ოპტიმალური ტენიანობა. შემთხვევათა უმეტესობაში საჭირო სიმკვრივე განიხილება, როგორც, პროქტორის მიხედვით მაქსიმალური სიმკვრივის პროცენტული წილი. როგორც წესი საგზაო სამოსის განსაზღვრული

ფენისათვის ის არის, პროექტორის მიხედვით, მაქსიმალური სიმკვრივის სულ მცირე 98%-ის ტოლი. თუმცა, აუცილებელია აღინიშნოს, რომ მშრალ მდგომარეობაში მაქსიმალური სიმკვრივის მნიშვნელობა შემკვრივების სტანდარტული ძალისას, დამოკიდებულია მხოლოდ მასალის თვისებებზე. ამიტომ შემკვრივებულ მასალაში ნებისმიერი ცვლილება აუცილებელს ხდის ამ მნიშვნელობის ხელახალ განსაზღვრას ლაბორატორიაში სტანდარტული ძალის გამოყენებით. პროექტორის მიხედვით მოდიფიცირებული გამოცდა შემუშავებული არის სტანდარტების უფრო მკაცრი მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად.



ნახ. 3 და ნახ. 4 სიმკვრივეზე დამოკიდებული ტენიანობა პროექტორის მიხედვით და გამკვრივების ორი განსხვავებული ძალის ზემოქმედება ტენიანობის სიმკვრივისგან დამოკიდებულებაზე

ამ ორივე მრუდისათვის არსებითს წარმოადგენს მათი სიახლოვე „ტენიანი“ მხრიდან ოპტიმალური ტენიანობის წერტილთან მიმართებაში „მშრალ“ მხარესთან შედარებით. ტენიანობის მიხედვით მასალაზე მოქმედებს გამკვრივების უფრო მაღალი ძალა.

ასფალტბეტონის საფარის მშენებლობის და ექსპლუატაციის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სარემონტო სამუშაოების ჩატარების დროს ერთ-ერთ მთავარ მიმართულებად უნდა ჩაითვალოს ძველი ასფალტბეტონისა და სხვა ბიტუმი-მინერალური მასალების მეორადი გამოყენება. ამ პრობლემის გადასაწყვეტად მხედველობაში უნდა მივიღოთ ძველი ასფალტბეტონის

რაოდენობა, მისი ხარისხი, გრანულაცია და მეორადი გამოყენების მეთოდები.

საგზაო სამოსის მზიდი უნარის გათვლას სტრუქტურული რიცხვების მეთოდით აქვს რიგი უპირატესობები, როგორცაა გამოყენების სიმარტივე, შედეგების მიღების სისწრაფე და მასალის მახასიათებლებსა და ქცევის თავისებურებებზე კლიმატური ფაქტორების გავლენის გათვალისწინების შესაძლებლობა. ასევე, ის იძლევა გათვლაში ახალი მასალების უპრობლემოდ შეტანის საშუალებას. ამის გამო სტრუქტურული რიცხვების მეთოდი გაფართოვდა მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული ფენების გასათვლელად, რაც იძლევა მისი გამოყენების საშუალებას 5 მლნ. ESAL მოძრაობის ინტენსივობის მქონე გზებისათვის.

სტრუქტურული რიცხვების მეთოდი ემპირიულია. ამიტომ მას გააჩნია რიგი შეზღუდვები, რომლებიც გასათვალისწინებელია. ის არ იძლევა ფენების ოპტიმალური კომბინაციების მიღების გარანტიას, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს საგზაო სამოსის კონსტრუქციის დაუბალანსირებლობა. ამიტომ ეს მეთოდი არ არის რეკომენდებული გამოუცდელი დამმუშავებლებისათვის და მისი გამოყენება უნდა შეიზღუდოს უფრო მარტივი კონსტრუქციების გამოყენებით.

სტრუქტურული რიცხვების მეთოდის მიხედვით გათვლისას ცნობილი უნდა იყოს საგზაო სამოსის კონსტრუქციაში გამოყენებული მასალის სახეობა და ხარისხი. თუ მასალის ხარისხის და ცალკეული ფენების სისქის შეფასება შესაძლებელია, მაშინ, „ფენის სტრუქტურული კოეფიციენტის“ დახმარებით შეიძლება სტრუქტურული რიცხვის გაანგარიშება მთელი კონსტრუქციისათვის, რაც განსხვავებულია მასალის სხვადასხვა სახეობისათვის. მთელი საგზაო სამოსის სტრუქტურული მზიდი უნარი განისაზღვრება, როგორც ფენების სტრუქტურული კოეფიციენტების და მათი სისქის ნამრავლის ჯამი.

კოეფიციენტები, რომლებიც ითვალისწინებენ ფენის სახეობას სხვადასხვა მასალებისათვის, საფარში კომბინირდება, საგზაო სამოსის

კონსტრუქციისათვის კომპლექსური სტრუქტურული რიცხვის განსაზღვრავი განტოლების მიხედვით.

$$SN_{\text{ფაქტ}} = a_1 \cdot h_1 \cdot d_1 + a_2 \cdot h_2 \cdot d_2 + a_3 \cdot h_3 \cdot d_3 + \dots + a_i \cdot h_i \cdot d_i$$

სადაც: $SN_{\text{ფაქტ}}$ - ფაქტიური სტრუქტურული რიცხვია საგზაო სამოსის შერჩეული კონსტრუქციისათვის;

a_i - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ფენის სახეობას i ფენისათვის;

h_i - i ფენის სისქე;

d_i - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დრენაჟის სახეობას i ფენისათვის.

ფაქტიური სტრუქტურული რიცხვი $SN_{\text{ფაქტ}}$ უნდა იყოს საჭირო $SN_{\text{მოთხ}}$ (AASHTO) რიცხვზე მეტი, რომელიც განისაზღვრება, გზაზე სატრანსპორტო საშუალებების მხრიდან დატვირთვის, ასევე მიწის ვაკისის მზიდი უნარის თაობაზე მონაცემების საფუძველზე.

მოდულირებული ბიტუმით დამუშავებული მასალის ფენის სისქე განისაზღვრება მისი გაზრდის ან შემცირების გზით იმ დონემდე, სანამ მიღწეული სტრუქტურული რიცხვი არ იქნება საჭირო სტრუქტურული რიცხვის შესაბამისი ან მასზე მეტი.

გაზომვებმა გვიჩვენეს, რომ საგზაო სამოსის საექსპლუატაციო საიმედოობის საწყისი ინდექსი (PSI - Pavement Serviceability Index) შეადგენს დაახლოებით 4,2. კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დრენაჟის სახეობას, განსაზღვრულია 1,0 ტოლი (ზომიერი მნიშვნელობა, დროთა განმავლობაში უახლოვდება გაჯერების მდგომარეობას: 1-5%).

აღდგენისადმი ძირითად მოთხოვნებს წარმოადგენს:

საანგარიშო საიმედოობა - 90%; საერთო სტანდარტული გადახრა - 0,4; ქვედა ზღვარი PSI - 2,5; სტრუქტურული მზიდი უნარი (მომსახურების საანგარიშო ვადა 15 წელი) - $2,5 \cdot 10^6$ ESAL

ზემოთ მოყვანილი ინფორმაცია გამოიყენება საგზაო სამოსის ანალიზის პროგრამაში. აღნიშნული ინფორმაციის ამ ანალიზში გამოყენებისას, საჭირო სტრუქტურული რიცხვი მიღებულია $SN_{მოთხ} = 3,83$ - ის ტოლი.

თუ მოდიფიცირებული ბიტუმით დამუშავებული ფენის სისქეს გავზრდით 320მმ-მდე, მაშინ შესაძლებელია საჭირო სტრუქტურული რიცხვის $SN_{მოთხ}$ მიღწევა. თუმცა, ამ დროს, რეციკლირება დაახლოებით 20მმ-ის სიღრმეზე, იტაცებს მიწის ვაკის ქვევით არსებულ დაბალ ხარისხიან მასალას. თუ ასეთი ნარევი მასალის CBR მნიშვნელობა დაიწევს 50%-ზე ნაკლებ მნიშვნელობამდე, მაშინ წარმოიშვება ალტერნატივის განხილვის საჭიროება, რომ რეციკლირების წინ, არსებულ ზედაპირზე უნდა დაიდოს მოტანილი მაღალი ხარისხის მასალის 30მმ-იანი ფენა. ამ შემთხვევაში, რეციკლირება არ შეეხება მიწის ვაკის.

აღნიშნულიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ საქართველოში არსებული რეალობიდან გამომდინარე, სარეაბილიტაციო გზების საგზაო სამოსი მნიშვნელოვნადაა დაზიანებული. რეაბილიტაციისას ოპტიმალური გადაწყვეტილების მისაღებად აუცილებელია არსებული საგზაო სამოსის კონსტრუქციის კვლევების ჩატარება. კვლევები ტარდება როგორც სტაციონალურ, ასევე საველე პირობებში. ოპტიმალური კონსტრუქციის შერჩევა ძირითადად დამოკიდებულია არსებული საგზაო სამოსის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებზე.

ნაშრომში გაკეთებული გაანგარიშებიდან გამომდინარე, ვინაიდან საგზაო სამოსის საჭირო სტრუქტურული რიცხვების მზიდი უნარი $5 \cdot 10^6$ ESAL-ზე ნაკლებია, სტრუქტურული რიცხვების აღწერილი მეთოდით გაანგარიშების მიხედვით მიღებული შედეგები შეიძლება ჩაითვალოს საკმარისად.

საგზაო სამოსის მზიდი უნარის გათვლის თეორიული ანალიზის მეთოდის გამოყენება ეფუძნება წრფივ - დრეკად მოდელს და სტრუქტურული რიცხვების მეთოდისაგან განსხვავებით ხასიათდება დიდი

სიზუსტით, მისი გამოყენება განსაკუთრებით ეფექტურია მაღალი ინტენსივობის გზებზე საგზაო სამოსების რეაბილიტაციისას.

თეორიული ანალიზის მეთოდით გაანგარიშებისათვის ვიხილავთ კონკრეტულ მაგალითს, სადაც დაზიანებული საგზაო სამოსის რეაბილიტაცია გათვალისწინებულია მოდიფიცირებული ბიტუმის გამოყენებით.

არსებული საგზაო სამოსის კონსტრუქცია შემდეგია:

- საფარი - წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონი, სისქით 5 სმ;
- საფუძვლის ზედა ფენა - ფრაქციული ღორღი, სისქით 70 სმ;
- ქვესაგები ფენა-ქვიშა-ხრეშოვანი მასალა, სისქით 20სმ, CBR > 80%, დრეკადობის მოდული - 250 მპა;
- არსებული დატკეპნილი გრუნტი, $CBR_{საშ} = 10\%$, დრეკადობის მოდული - 90 მპა.

საგზაო სამოსის რეაბილიტაციის შემდეგ შენარჩუნებული იქნება ასფალტბეტონის საფარი სისქით 5 სმ, რაც შეეხება საფუძვლის ფენებს, მათი სისქე დადგინდება გაანგარიშებით. ძირითადი მოთხოვნები საფარის აღდგენისადმი შემდეგია:

საანგარიშო საიმედოობა - 90%; კლიმატური პირობები-ზომიერი; ზღვრული პირობები-ლიანდები 20 მმ; საერთო სტანდარტული გადახრა- 0,4; ქვედა ზღვარი PSI - 2,5; მომსახურების საანგარიშო ვადა 15 წელი - $5 \cdot 10^6$ ESAL; მოსალოდნელი დატვირთვა - გაორმაგებული დატვირთვა 20კნ ბორბალისგან; წნევა სალტეებში 700 კპა.

თეორიული გაანგარიშების წინ, მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული რეციკლირებადი ფენის სისქის საორიენტაციო განსაზღვრისათვის, რეკომენდებულია საგზაო სამოსის კონსტრუქციის წინასწარი შეფასება სტრუქტურული რიცხვების მეთოდით, რაც მოგვცემს საგზაო სამოსის სქემის აგების საშუალებას მისი თეორიული ანალიზისათვის.

ფაქტიური სტრუქტურული რიცხვი $SN_{ფაქტ}$ შეესაბამება მოთხოვნილს: $SN_{მოთხ} = 3,83$, ამიტომ რეციკლირების საჭირო სიღრმე შეადგენს 200 მმ.

თეორიული გაანგარიშება ტარდება მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული ფენის მახასიათებლების განსასაზღვრავად. გაანგარიშებისათვის საჭირო ამოსავალი მონაცემები მოცემულია შესაბამის ცხრილებში.

რეციკლირებისას, საჭირო მახასიათებლების განსაზღვრისათვის 200 მმ–იანი ფენის მისაღებად, საჭიროა გამოიყენოს 60% ასფალტბეტონის და 40% ღორღის ნარევი სტაბილიზირებული მოდიფიცირებული ბიტუმით და შეირჩეს ზუსტი შემადგენლობა. შესაბამის ცხრილებში მოცემულია ჭიმვისას სიმტკიცის ზღვარის (ITS–ის) განსასაზღვრავი ცდების შედეგები, რომლებიც ტიპურია ასეთი მასალისათვის და მიღებულია 100 მმ–იანი დიამეტრის ნიმუშების „მარშალზე“ გამოცდით.

შედეგები აჩვენებს, რომ მოდიფიცირებული ბიტუმის ოპტიმალური დანამატი შეადგენს დაახლოებით 3%. ასეთი მოდიფიცირებული ბიტუმით დანამატისას სიმტკიცის ზღვარი ჭიმვისას (ITS) აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ხოლო ნარჩენი სიმტკიცე ჭიმვისას (TSR) 0,8 – ის ტოლი, საკმარისია.

მიღებული შედეგები დაახლოებით შეესაბამება თავდაპირველი შეფასებების მნიშვნელობებს, ამიტომ შეიძლება დაიშვას, რომ რეციკლირების სიღრმე მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზაციისათვის შეადგენს 200 მმ.

თუკი გამოცდების შედეგები ნარევის შემადგენლობის შესარჩევად მნიშვნელოვნად დაბალია, მაშინ, ისინი გამოიყენება საწყის მონაცემებად თეორიული ანალიზისათვის და სისქე იზრდება მანამდე, სანამ არ იქნება მიღებული საჭირო სტრუქტურული მზიდი უნარი.

იმ შემთხვევაში როდესაც საჭიროა მიღებული იყოს მნიშვნელოვნად სხვანაირი ნარევი, ის უნდა გამოიყენოს იმის დასადგენად, შეიძლება თუ არა ITS–ის და UCS–ის თავდაპირველი მნიშვნელობების მიღწევა

წონასწორული ტენიანობისას. ეს ცდები უნდა ჩატარდეს მოდიფიცირებული ბიტუმის სხვადასხვა წილებით, რათა დადგინდეს, ნარევის შემადგენლობის შეცვლის შედეგად ხომ არ შეიცვალა ამ წილის ოპტიმალური მნიშვნელობა.

დატვირთვის ზემოქმედების ქვეშ მყოფი არასტაბილიზებული მასალისათვის საგზაო სამოსის კონსტრუქციაში, ნარჩენი დეფორმაციის სიდიდეს წარმოადგენს მაქსიმალური ცვლადი ძაბვისა და დევიატორით გენერირებადი ძაბვის თანაფარდობა. ფენების კოჰეზიისა და შიდა ხახუნის კუთხის განსასაზღვრავად, რომლებიც საჭიროებენ მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზაციას, გამოცდები უნდა წარმოებდეს სამ ღერძზე დატვირთვით.

ამ მიზნით მზადდება ნიმუშები მოდიფიცირებული ბიტუმით და აქტიური მინერალური ფხვნილის (ცემენტის ან კირის) გამოყენებით. რეკომენდებულია არა ტიპური მნიშვნელობების გამოყენება, არამედ თითოეული ცალკეული მასალის შემოწმება, ვინაიდან ფაქტიური მნიშვნელობები შეიძლება საკმაოდ მერყეობდეს.

სამ ღერძზე დატვირთვით შესრულებულმა ცდებმა აჩვენა, რომ საწყისი სიმტკიცე (1500-დან 2500-მდე მპა) ნარჩუნდება მაქსიმუმ, დატვირთვის 50-250 ათას ციკლის განმავლობაში. შემდგომ მისი მნიშვნელობა სტაბილიზდება. მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული მინერალური მასალების ხარისხის მიხედვით, ეს ასიმპტომურად ცვლადი სიმტკიცე რჩება 500-დან 1200-მდე მპა-ს ფარგლებში. ამ სტაბილურ მდგომარეობაშიც კი ცემენტის დიდი შემცველობის (+2%) მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებულ ნარევეს გააჩნიათ ძაბვაზე დამოკიდებული მახასიათებლები.

საგზაო სამოსების მოდელირება აუცილებელია მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული ფენის შემცველ მათ კონსტრუქციებში ძაბვების განაწილების შესაფასებლად.

სტაბილიზებული ფენის საერთო მოსალოდნელი ნარჩენი დეფორმაცია წარმოადგენს ასეთი დეფორმაციების სიდიდეების – %-ში (ძაბვების

შესაბამისი თანაფარდობისთვის) და ცალკეული სუბფენების სისქის ნამრავლის ჯამს. ამგვარად შეიძლება მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული ფენის ვარგისიანობის შემოწმება. თუ გაანგარიშებაში გამოყენებული დატვირთვის ციკლების რაოდენობაში საერთო დეფორმაცია მიუღებელია, ფენის სისქე უნდა გაიზარდოს (მაბევრის თანაფარდობის დასაწევად) და მაბევრის თანაფარდობა ხელახლა უნდა იყოს გადათვლილი.

უნდა აღინიშნოს, რომ მაბევრის კრიტიკული თანაფარდობა მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული მასალებისთვის შეადგენს დაახლოებით 42 - 47%. ეს მნიშვნელობები გაუმაგრებელი მასალების მნიშვნელობებზე გაცილებით უკეთესია. განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული მასალების სიმტკიცე ძვრისას, მნიშვნელოვნად მაღალია. ამიტომ, სამუშაო მაბევრის თანაფარდობა ასეთი მასალებისათვის ბორბლისგან იმავე დატვირთვისას უფრო ნაკლებია, შესაბამისად, საგზაო სამოსის მომსახურების ვადა, არასტაბილიზებულ მასალებთან შედარებით მეტია.

აღნიშნული მეთოდის აქტუალობა იმაში მდგომარეობს, რომ საავტომობილო პარკის სწრაფი ზრდიდან გამომდინარე, საგზაო სამოსის აღდგენის ზოგიერთი პროექტები უნდა გაანგარიშდეს მოძრაობის მაღალ ინტენსივობაზე. ასეთ შემთხვევაში კი დიდი მნიშვნელობა აქვს გაანგარიშების უფრო რთულ და საიმედო მეთოდების გამოყენებას, კერძოდ, რეკომენდებულია მაბევრის ზღვრული თანაფარდობის მეთოდი. ამ მეთოდის სწორად გამოსაყენებლად აუცილებელია, რათა გაანგარიშების შემსრულებელს გარკვევით ესმოდეს საგზაო სამოსის მახასიათებლების მაბევრზე დამოკიდებულების პრინციპი და შეძლოს მათი გამოყენება მისი კონსტრუქციის თეორიული ანალიზისას. მაბევრის თანაფარდობის განსაზღვრა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მოდელირების სისწორეზე.

საგზაო სამოსის ასფალტგრანულობეტონის, მინერალური შემკვრელის და ბლანტი ბიტუმის ნარევისაგან მშენებლობის ტექნოლოგიებმა უნდა უზრუნველყონ მასალის კარგი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები.

სამუშაოების წარმართვის დროს ასფალტგრანულობეტონის ნარევის შემადგენლობის დოზირება და მისი ფორმირების პირობები საშუალებას იძლევა შეირჩეს რაციონალურ-ტექნოლოგიური პარამეტრები და ვმართოთ რეაბილიტირებული გზის საფარის ხარისხი. 3-4 საათის განმავლობაში 20°C ტემპერატურაზე ნარევის დაყოვნების შემთხვევაში მატულობს ასფალტგრანულობეტონის სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე და სიმკვრივე. ხოლო ჰაერის ტემპერატურის 10°C-ით მომატება ამ პერიოდს 1-2 საათით კიდევ ამცირებს.

ნარევის დამზადების პერიოდი P_1 , მისი დაგების ხანგრძლივობა P_2 , დაგებიდან ნარევის დატკეპნამდე შუალედი P_3 , ნარევის დატკეპნის პერიოდი P_4 . აღნიშნული პერიოდების ჯამი არ უნდა იყოს წინასწარ განსაზღვრულ P ხანგრძლივობაზე მეტი. P -ს სიდიდე დამოკიდებულია აღნიშნულ მომენტში ჰაერის ტემპერატურაზე.

$$P \geq P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

ამ პერიოდში წარმართული ტექნოლოგიური პროცესების შედეგად მიღებული მასალის სიმტკიცე არ უნდა იყოს ნორმატიულ სიმტკიცეზე დაბალი. P_2 და P_4 განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$P_2 = S / \Pi_{\text{დაგება}} \quad \text{და} \quad P_4 = S / \Pi_{\text{დატკეპნა}}$$

აქ $\Pi_{\text{დაგება}}$ და $\Pi_{\text{დატკეპნა}}$ ნარევის დამგები და ნარევის დამტკეპნი მექანიზმების მწარმოებლობაა ($\text{მ}^2/\text{სთ}$), ხოლო S - მოსაწყობი საფარის ფართობი (მ^2).

შესაბამისად P -ს განმსაზღვრელი ტოლობა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$P = P_1 + S / \Pi_{\text{დაგება}} + P_3 + S / \Pi_{\text{დატკეპნა}}$$

ტექნოლოგიური პროცესების წარმართვისათვის საჭირო პერიოდის საშუალებით შესაძლებელია განისაზღვროს გასარემონტებელი საგზაო საფარის ფართობი.

$$S = \frac{\Pi_{\text{დაგება}} \times \Pi_{\text{დატკეპნა}} \times (P - P_1 - P_3)}{(\Pi_{\text{დაგება}} + \Pi_{\text{დატკეპნა}})}$$

ყოველივე აქედან გამომდინარე შესაძლებელია წარიმართოს სარემონტო სამუშაოების წინასწარი პროგნოზირება და შესაბამისად შეიქმნას რუკები, სადაც დატანილი იქნება რაციონალურ-ტექნოლოგიური პარამეტრები.

ჩვენს მიერ, შპს “აბსოლუტსერვისის“ აკრედიტირებულ ლაბორატორიაში, ჩატარდა ექსპერიმენტები ცივი რეციკლირების მეთოდით ასფალტბეტონის საფარის რეაბილიტაციისას, სხვადასხვა დანამატების რაოდენობის ოპტიმიზაციის მიზნით.

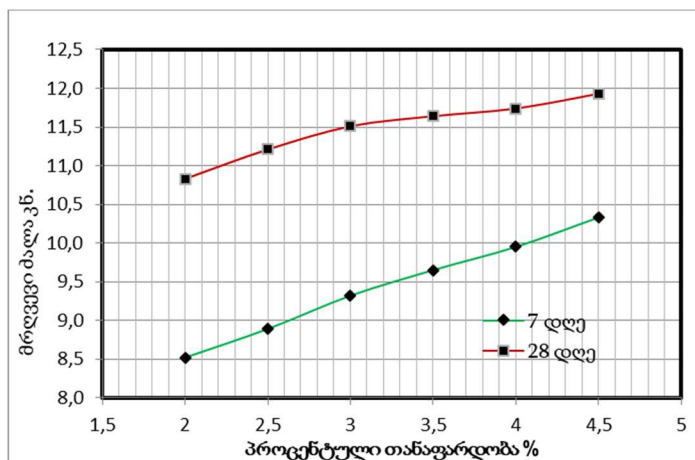
დაიგეგმა ექსპერიმენტების შვიდი სერია. ყველა სერიისათვის გამოსაცდელ ნიმუშში მუდმივია: ქვიშა-ლორღის ნარევი - 70%; ნაფრეზი გრანულატი - 30%, ასევე გამოცდის პერიოდი მე -7 და 28-ე დღე.

ცილინდრული ნიმუშის გამოცდა მიმდინარეობდა შემდეგი პირობების დაცვით:

- ცდის მიმდინარეობისას დაცული იყო რეკომენდებული სტანდარტული ტემპერატურა 25 °C.
- მომზადებულ ცილინდრულ ნიმუშს ვათავსებდით 50 კნ-იან პრესში ისე, რომ დაიტვირთოს დიამეტრულად.
- ნიმუშის დატვირთვას ვიწყებდით მუდმივი სიჩქარით (50 ± 2) მმ/წთ. მანამდე, სანამ ძალა არ მიაღწევდა მაქსიმალურ ნიშნულს. ვაგრძელებდით ნიმუშის დატვირთვას მის დაშლამდე. ცდა სრულდებოდა 2 წთ-ის განმავლობაში.

პირველი სერია - ჩატარდა ცემენტის (პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%) და წყლის (4.0 %) დანამატით. გამოცდა მიმდინარეობდა UNI EN 12390-6 სტანდარტით (არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე);

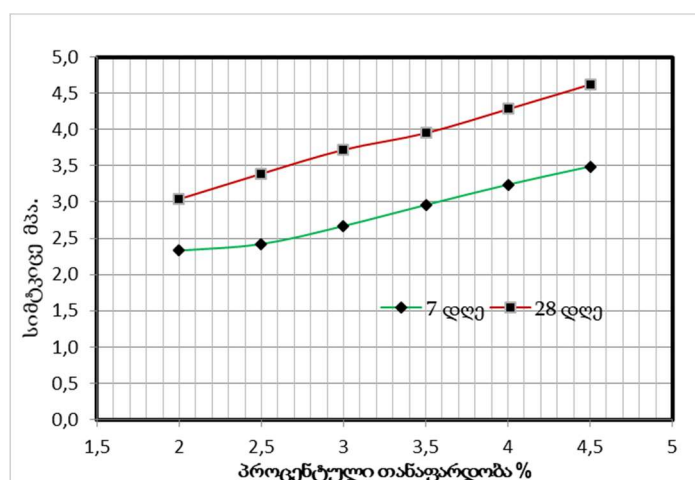
გამოცდის შედეგად (ნახ. 5) დადგინდა, რომ ნიმუშის სიმტკიცე ცემენტის დამატებით განუხრელად იზრდება, ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28 შეადგენს საშუალოდ 0,82-ს.



ნახ. 5. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით

მეორე სერია - ჩატარდა ცემენტის (პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%), ბიტუმის (2%) და წყლის (4.0 %) დანამატით. გამოცდა მიმდინარეობდა ASTM D1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე);

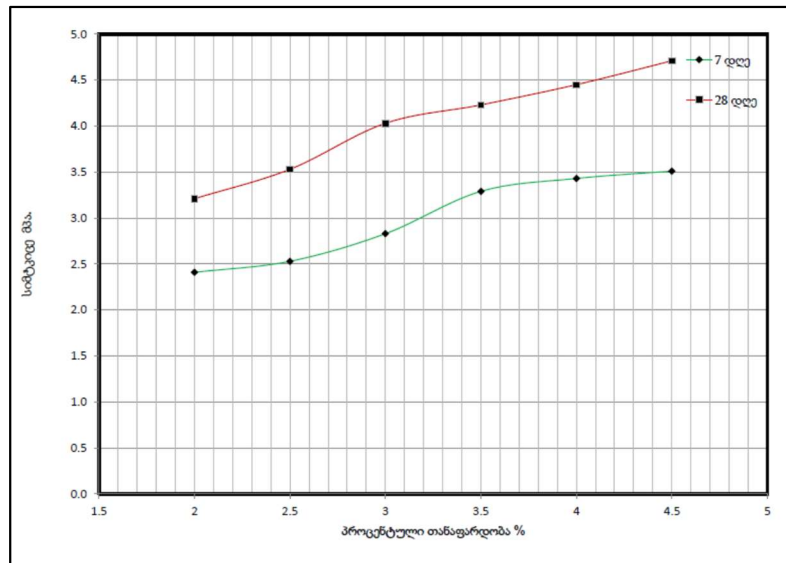
გამოცდის შედეგად (ნახ. 6) დადგინდა, რომ ნიმუშის სიმტკიცე ცემენტის დამატებით განუხრელად იზრდება, ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28 შეადგენს საშუალოდ 0,74 -ს.



ნახ. 6. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით, 2% ბიტუმის დანამატით

მესამე სერია - ჩატარდა ცემენტის (პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%), მოდიფიცირებული ბიტუმის (2%) და წყლის (4.0 %) დანამატით. გამოცდა მიმდინარეობდა ASTM D1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე);

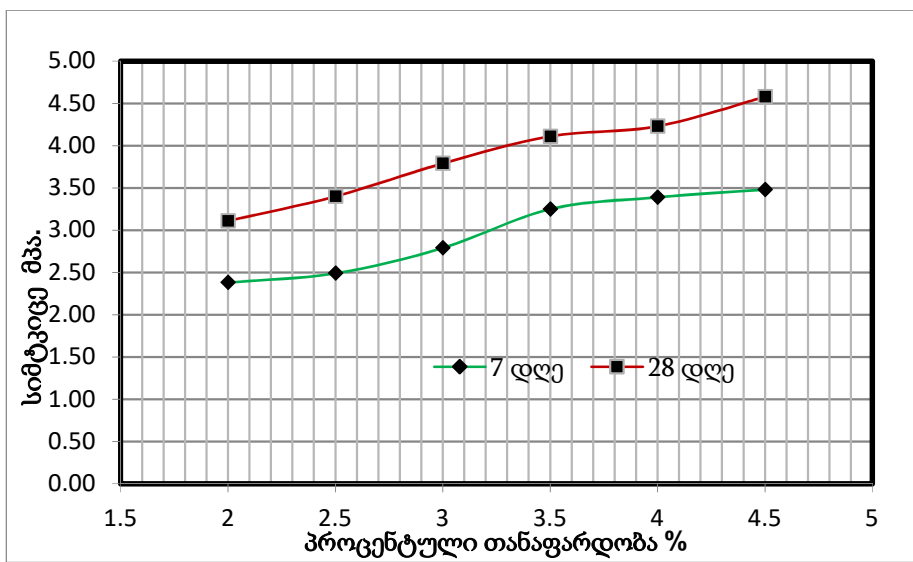
გამოცდის შედეგად (ნახ. 7) დადგინდა, რომ ნიმუშის სიმტკიცე ცემენტის დამატებით განუხრელად იზრდება, ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28 შეადგენს საშუალოდ 0,74-ს.



ნახ. 7. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით, 2% მოდიფიცირებული ბიტუმის დანამატით

მეოთხე სერია - ჩატარდა ცემენტის (პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%), ბიტუმის ემულსიის (2%) და წყლის (3.0 %) დანამატით. გამოცდა მიმდინარეობდა ASTM D1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე);

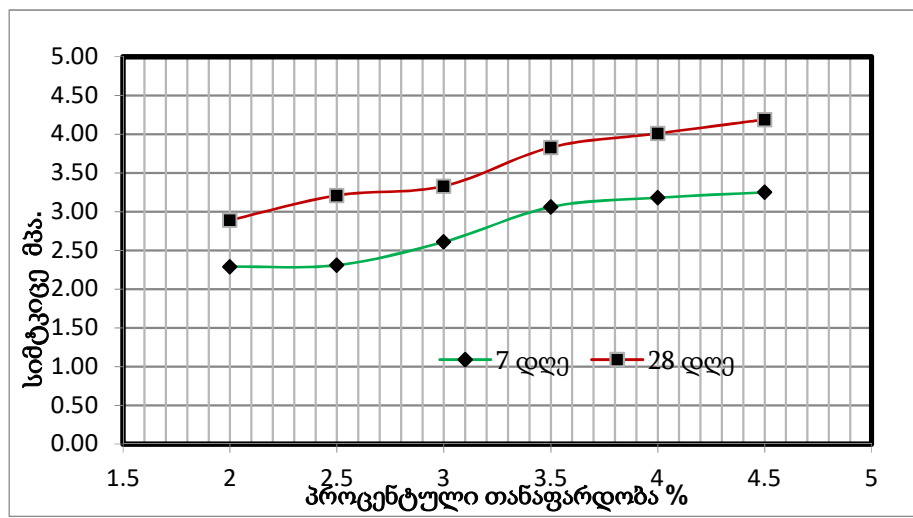
გამოცდის შედეგად (ნახ. 8) დადგინდა, რომ ნიმუშის სიმტკიცე ცემენტის დამატებით განუხრელად იზრდება, ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28 შეადგენს საშუალოდ 0,76-ს.



ნახ. 8. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით, 2% ბიტუმის ემულსიის დანამატით

მეხუთე სერია - ჩატარდა ცემენტის (პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%), ბიტუმის ემულსიის (3%) და წყლის (2.5 %) დანამატით. გამოცდა მიმდინარეობდა ASTMD1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე);

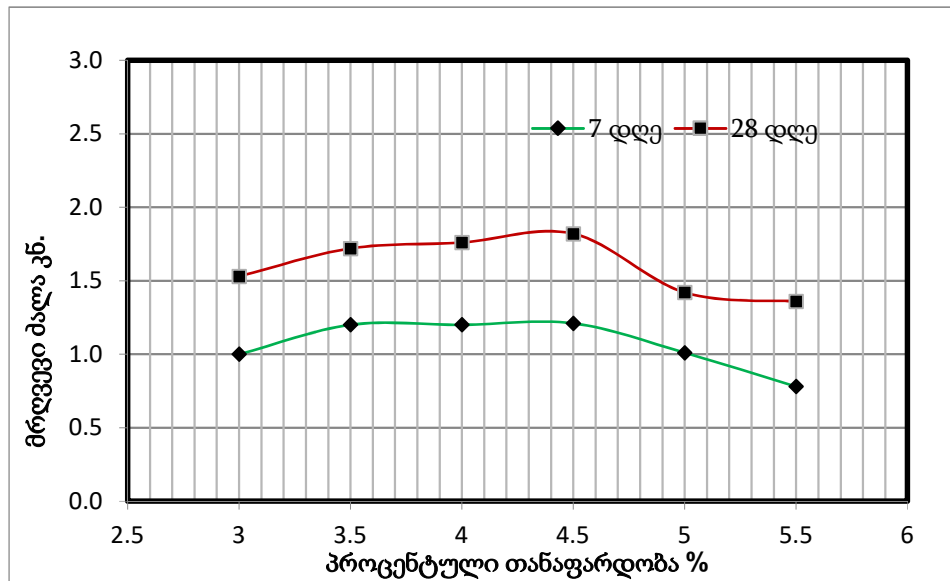
გამოცდის შედეგად (ნახ. 9) დადგინდა, რომ ნიმუშის სიმტკიცე ცემენტის დამატებით განუხრელად იზრდება, ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28 შეადგენს საშუალოდ 0,78-ს, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მე-7 დღეს მიიღწევა საპროექტო სიმტკიცის 78%.



ნახ. 9. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით, 3% ბიტუმის ემულსიის დანამატით

მექსე სერია - ჩატარდა ბიტუმის ემულსიის (პროცენტული შემცველობა 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%) და წყლის (3.0%) დანამატით. გამოცდა მიმდინარეობდა BS EN 12697-23 სტანდარტით (არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე).

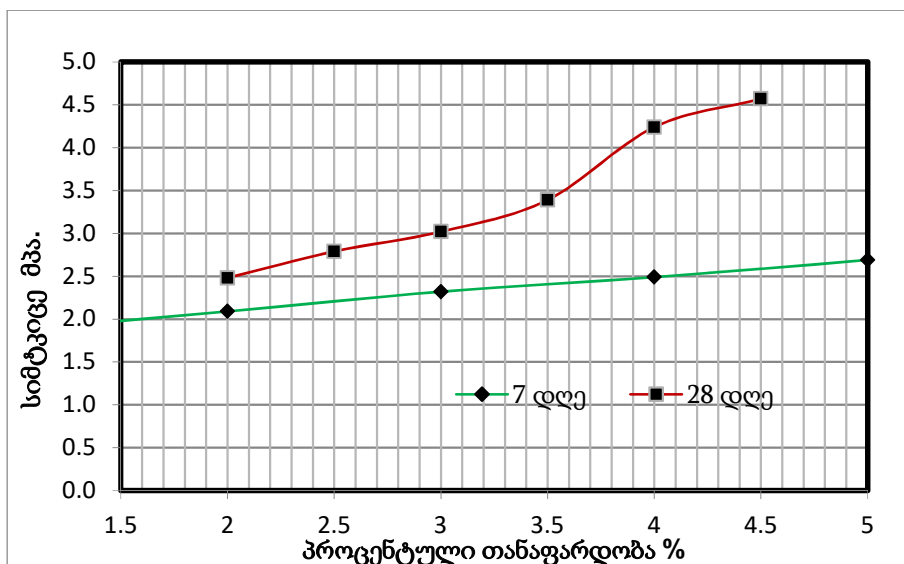
გამოცდის შედეგად (ნახ. 10) დადგინდა, რომ ნიმუშის სიმტკიცე ბიტუმის ემულსიის დამატებით იზრდება 4.5 %-მდე, ხოლო ემულსიის შემდგომი მატება იწვევს სიმტკიცის შემცირებას, ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28 შეადგენს საშუალოდ 0,66-ს.



ნახ. 10. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ბიტუმის ემულსიის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით

მეზვიდე სერია - ჩატარდა დოროპორტის დამატებით (პროცენტული შემცველობა (2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%) და წყლის (4.0%) დანამატით. გამოცდა მიმდინარეობდა ASTM D 1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე).

გამოცდის შედეგად (ნახ. 11) დადგინდა, რომ ნიმუშის სიმტკიცე დოროპორტის დამატებით განუხრელად იზრდება, ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28 შეადგენს საშუალოდ 0,71-ს.



ნახ. 11. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი დოროპორტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით

დასკვნა

- ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევებისა და საცდელ-საწარმოო შემოწმებით თეორიულად დასაბუთებულია ასფალტბეტონის საფარის ცივი რეციკლირებით შეკეთების ტექნოლოგია და შემუშავებულია შეკეთების რაციონალური ტექნოლოგიური პარამეტრები თხევადი ბიტუმის, ცემენტის, ბიტუმის ემულსიის, მოდიფიცირებული ბიტუმის და დოროპორტის გამოყენებით.
- კვლევების საფუძველზე დადგენილია ასფალტოგრანულობეტონის ფიზიკურ - მექანიკური თვისებების მაჩვენებლები. ნარევის შემუშავებული შემადგენლობა (დიზაინი) საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ სამი ტიპის ასფალტოგრანულობეტონი, რომლებიც სავსებით აკმაყოფილებენ ტექნიკური ნორმებით წაყენებულ მოთხოვნებს და მათი გამოყენება შესაძლებელია ასფალტბეტონის საფარის როგორც ქვედა, ისე ზედა ფენების მოწყობისათვის:
 - ბიტუმის შემცველი (ტიპი A);
 - მინერალურ შემცველი (ტიპი B);

- კომპლექსური (ტიპი C).
3. ჩატარებული კვლევებით დადგენილია ბიტუმის ემულსიის, დოროპორტისა და წყლის ის ოპტიმალური რაოდენობა, რომლითაც მიიღწევა აგბ-ის სიმტკიცის მაღალი მაჩვენებელი. ამასთან, წყლის რაოდენობა დამოკიდებულია როგორც მინერალური შემკვრელის ტიპსა და პროცენტულ თანაფარდობაზე, ასევე მასალის მომზადებისა და გამკვრივების პირობებზე.
 4. აგბ-ის სიმტკიცის ფორმირებაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ცემენტი, რაც დასტურდება ამ შემკვრელის შემცველი ნიმუშების სიმტკიცის ზრდის გახანგრძლივებული დროით. გარდა ამისა ცემენტის გამოყენება უზრუნველყოფს კოაგულაციური სტრუქტურის გრძელვადიან შენარჩუნებას, რაც ხელს უწყობს ტექნოლოგიური პარამეტრების გაუმჯობესებას.
 5. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე ირკვევა, რომ:
 - ცემენტის დამატება აუმჯობესებს საგზაო სამოსის სიმტკიცის მაჩვენებელს. ამასთან მე-7 დღეს მიიღწევა საპროექტო სიმტკიცის 82%.
 - სამოსის სიმტკიცე 4.5 %-მდე ბიტუმის ემულსიის დამატებით იზრდება, ემულსიის შემდგომი მატება იწვევს სიმტკიცის შემცირებას. მე-7 დღეს მიიღწევა საპროექტო სიმტკიცის 66%.
 - სამოსის სიმტკიცე დოროპორტის დამატებით იზრდება. მე-7 დღეს მიიღწევა საპროექტო სიმტკიცის 71%.
 6. საჭირო თვისებების საგზაო საფარის მისაღებად აუცილებელია ტექნოლოგიური პროცესის ორგანიზება ისე, რომ ნარევის დატკეპნა დასრულდეს ინდუქციურ პერიოდში, რომლის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია ნარევის რეცეპტზე და ჰაერის ტემპერატურაზე. სხვადასხვა კომპოზიციების ნარევების შეკავების მაქსიმალური დასაშვები დრო მერყეობს 3-დან 8 საათამდე.
 7. თეორიული კვლევებით და საცდელ-საწარმოო შემოწმებით დადასტურებულია, რომ ცივი რეციკლირების ტექნოლოგიის

გამოყენებისას შესაძლებელია გამოსწორდეს გარკვეული ხარვეზები, საგზაო სამოსის კონსტრუქციული ფენის დატკეპნის შემდეგაც, კერძოდ:

- C ტიპის აგზ-ს გამოყენებისას, ფენის დატკეპნიდან 4 საათის განმავლობაში შესაძლებელია მისი გაფხვიერება და ხელახალი დატკეპნა და ამით მისი სიმტკიცის მახასიათებლების გაუმჯობესება;
 - გამათხევადებლის აორთქლებამდე (11-15სთ) ინარჩუნებს განმეორებითი გადამუშავების შესაძლებლობას B ტიპის ასფალტოგრანულობეტონი.
8. არახისტი საფარის შეკეთების ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ტექნოლოგია სულ მცირე 2-ჯერ იაფია, ვიდრე ანალოგიური ეფექტის მქონე შეკეთების ტრადიციული ტექნოლოგია - ასფალტბეტონის საფარის ახალი თხელი ფენის დაგება.
9. შემოთავაზებული მეთოდოლოგიის მიხედვით, სარეაბილიტაციო სამუშაოების ჩატარებისას, წამყვანი დანადგარის პარამეტრებისა და კლიმატური ფაქტორების გათვალისწინებით შესაძლებელია შევიმუშაოთ საგზაო საფარის შეკეთების ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები (სამუშაო ფრონტის სიგრძე, ნარევის დატკეპნის ოპტიმალური დრო).

დისერტაციის თემასთან დაკავშირებული პუბლიკაციები

1. ა.ბურდულაძე, დ.გეწაძე, თ.პაპუაშვილი,- „საგზაო სამოსის საექსპლუატაციო ხარისხის შენარჩუნება“. სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“.2018, №2(49), გვ.81-83.

2. ა.ბურდულაძე, დ.გეწაძე, თ.პაპუაშვილი, - „საგზაო სამოსის შეკეთება რეციკლირების მეთოდით“. სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. 2018, №2(49), გვ.87-89.

3. ა.ბურდულაძე, დ.გეწაძე, თ.პაპუაშვილი, - „საგზაო სამოსის გაანგარიშება ძაბვების ზღვრული თანაფარდობის მეთოდით“. სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. 2019, №1(50), გვ.90-92.
4. დ.გეწაძე, - „საგზაო სამოსის რეაბილიტაციის ღონისძიებების შემუშავება“, სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. 2019, №1(50), გვ.107-112.
5. ა.ბურდულაძე, თ.პაპუაშვილი, დ.გეწაძე, - „საგზაო სამოსის მზიდი უნარის გათვლა თეორიული ანალიზის გზით“, სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. 2019, №2(51), გვ.38-42.
6. თ.პაპუაშვილი, დ.გეწაძე, ა.ბურდულაძე, - „საგზაო სამოსის მზიდი უნარის გათვლა სტრუქტურული რიცხვების მეთოდით“, სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. 2019, №2(51), გვ.107-111.

Abstract

Irreversible (plastic) deformations accumulate in the process of operation on non-rigid road pavements. As a result, irregularities arise on the pavement. The process of forming irregularities can be considered as a characteristic of the strength of road pavements.

Studies on the interrelationship have shown that the roughness of the pavement surface and the strength of the road surface have a stable correlation. On the one hand, the decrease in the strength of road structures is the primary reason for the change in the roughness of the pavement, on the other hand, the change in the roughness of the pavement changes the coefficient of dynamism and increases the value of irreversible deformations of the pavement.

It should be noted that the existing dependencies have different bases and it is impossible to present one specific mathematical model that will establish a single law for the entire period of operation of the highway.

The degree of change in the roughness of the surface depends on the bearing capacity of the foundation. The more stronger the road base is, the more guaranteed stability and accuracy of the road surface is achieved and therefore constant value of the transport load dynamic factor is guaranteed. At the same time, delayed elimination of defects at the deformation formation stage are often less effective,

and costly solution. The solution to this problem is a systematic analysis of the roughness of the pavement and the rate of development of its regression. It is now more important to avoid the formation of critical deformations and to prevent the intensive accumulation of plastic deformations in the structure. The main task to solve the problem is to determine the onset of intense softening and breaking time. It should be noted that the longitudinal roughness of the pavement is a single value and the number of factors affecting the accuracy of its measurement is minimized. It is established that the strength and roughness depend on the same indicator - the total mass of the vehicles fully driven, which confirms the relationship between them. The dynamics of the change in the roughness of the pavement depends on the condition of the road surface and the soil surface and is a quantitative characteristic of the attractiveness. Research has shown that the development of roughness involves two stages:

- Merging of Roughness according to the increased number of attached loads;
- Current state of change of roughness (slight merging of roughness) within the established values.

The rate of deformation of asphalt concrete decreases over time as the loads increase, gaining the property of flowability. Through the analysis of the change in the roughness of the pavement, it is possible to timely detect the onset of its hardening and to prevent premature rupture and deformation of the road surface layers.

Thus, at different stages of road operation, the dynamics of changes in the roughness of the pavement determine its ability to work and durability. The proposed solutions can be used as an addition to existing road assessment systems for optimal selection of maintenance measures.

The analysis of the experience of foreign countries and the theoretical and experimental studies carried out by us unequivocally confirm the advantage of the secondary use of the existing asphalt concrete pavement during the repair works. Therefore, cold recycling is considered to be one of the most attractive technologies for recycling road pavements with the criterion "cost / efficiency". To solve this problem we must take into account the quantity of old asphalt concrete, its quality, granulation and methods of secondary use.

The selection of the optimal construction mainly depends on the physical-mechanical properties of the existing road pavements (which can be determined by the FWD test) and the road loads due to the perspective intensity of traffic.

The paper discusses:

- Methods of calculating road pavements during cold recycling;

- Selection of technically and economically viable technologies for planning flexible pavement rehabilitation measures and repair works;
- Optimization of cold recycling technological cycles.

Studies on the reuse of recycled asphalt concrete with the addition of various mineral and organic binders have been conducted. Based on the results of the studies, in accordance with the specific requirements, it is possible to develop road pavement structures and optimal repair technological parameters, taking into account drive parameters and climatic factors.

Due to the reality in Georgia, the pavements of the rehabilitation roads are significantly damaged. In the process of rehabilitation, in order to make an optimal decision, the paper provides studies of the existing roadway construction. Surveys were conducted in both inpatient and field settings. The selection of the optimal construction mainly depends on the physical-mechanical properties of the existing road pavements (which can be determined by the FWD test) and the road loads due to the perspective intensity of traffic.

The paper discusses:

- Methods of calculating road pavements during cold recycling;
- Selection of technically and economically viable technologies for planning flexible pavement rehabilitation measures and repair works;
- Optimization of cold recycling technological cycles.

Studies on the reuse of recycled asphalt concrete with the addition of various mineral and organic binders have been conducted. Based on the results of the studies, in accordance with the specific requirements, it is possible to develop road pavement structures and optimal repair technological parameters (length of working front, optimal compaction time), taking into account drive parameters and climatic factors.